

I-49 空気式振動計の研究 (第3報)

— 測定感度 —

萩原辰弥

Studies on a Pneumatic Vibrometer (3rd Report)

Tatsuya HAGIWARA

SYNOPSIS

This Paper is concerned with measuring sensitivities of a Pneumatic vibrometer consisting of a pneumatic micrometer whose static characteristic curve is of V-shape. Sensitivities are deduced from rectifying characteristics obtained in the previous reports by calculation.

Results show that the sensitivity of the device depends upon three factors: namely, total clearance $2H$, throttle diameter d_e and amplitude a to be measured. Furthermore, for certain specified values of two among three parameters, the optimum value of the remainder can be determined so as to make the sensitivity maximum.

By this vibrometer, amplitudes of 3 to 150μ can be measured with sensitivity over 2000 (mm Aq/mm). The maximum attainable sensitivity of the device is 7050 (mm Aq/mm) under the condition of $H=54\mu$, $d_e=0.45$ mm and $a=29\mu$.

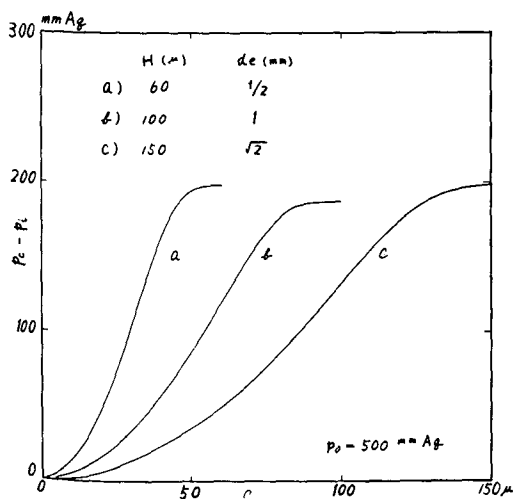
1. まえがき

複合ノズル空気マイクロメータのV形静特性曲線の最低圧力の位置を中心にして間隙を振動させると(振幅を a とする), それに応じて測圧室内に圧力変化 ΔP が生ずる。そのときの変換倍率 $f_p = \Delta p/a$ はきわめて大きく数千 [mm Aq/mm] に達する。 f_p の値は装置の設計, すなわちノズルの全間隙 ($2H$) および内部固定絞りの相当径 (d_e) によつて著しく変わるは

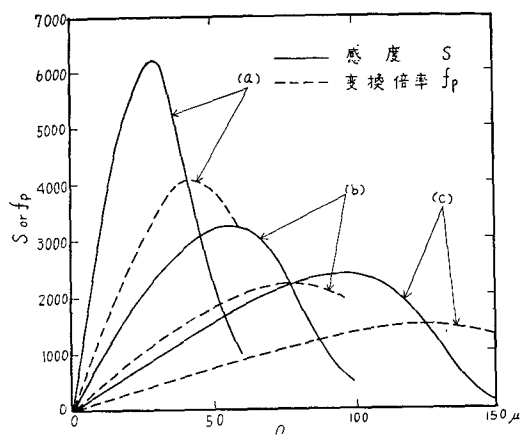
か, 被測定振幅 a によつても左右される。これらの関係はすでに第2報¹⁾に詳細に報告されている。

この変換作用を利用すれば, 与えられた装置で Δp をよみとることによつて振幅 a の値を求めることができるので, 当然この装置はそのまま振動計として使えるわけである。このとき必要なことは変換倍率 f_p でなくて, 測定感度 $S = d(\Delta p)/da$ を知ることである。

本報においては前報で得られた整流特性より感度 S



第1図 振幅変換特性



第2図 倍率と感度

を計算によつて求め、これが H , d_e および a によつてどのような影響を受けるかを検討し、感度を最大にする最適条件を求める。

2. 感 動 S

振幅 a と圧力計でよみとれる差圧 $\Delta p = p_e - p_i$ との関係は一般に第 1 図に示されるような形になる。

$\Delta p = a \times f_p$ であるから

$$S = f_p + a \times a(f_p)/da$$

が得られる。振幅がきわめて小さいところでは $\Delta p \propto a^2$ であるので

$$S = 2f_p \quad (a \ll 1)$$

が成立し、 f_p の極大のところでは

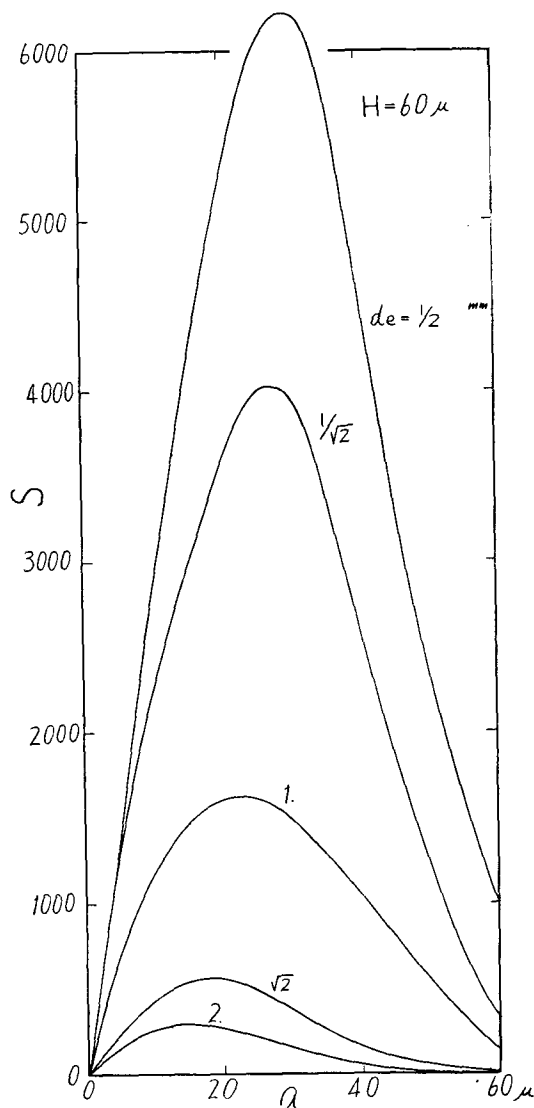
$$S = f_p \quad (df_p/da = 0)$$

となる。 f_p の極大点より a の大きい所では df_p/da は負となり f_p の値も減少するので S は小さくなる。それで S を極大とする振幅値は f_p を極大とするそれよりも小さいことがわかる。第 2 図に両者の関係を示す。 f_p と S の曲線は若干のずれがあり、大体 f_p 曲線を左上方に引き伸ばすとほぼ S 曲線が得られるので、 H , d_e および a の S に対する影響は第 2 報で詳細に論じた f_p に対するそれとほぼ類似していることが推定される。

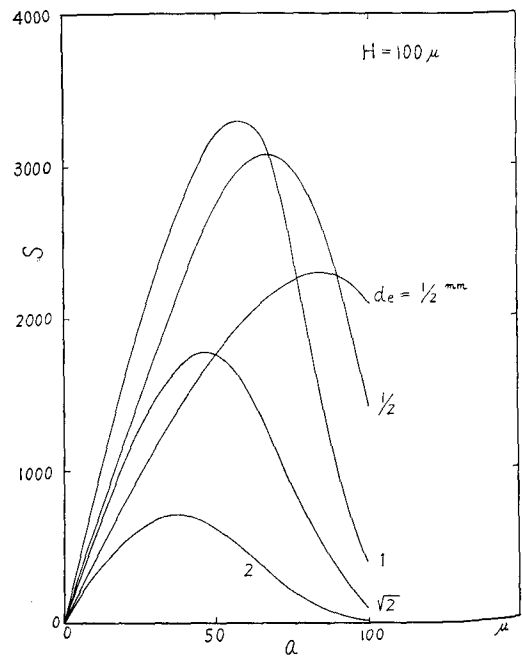
Δp を水柱 mm で測定したので S の次元は [mm Aq/mm] となるが、 f_p の場合と同様、無次元量として扱う。また本報で示される数値は、前報と同様に供給圧 $P_s = 500 \text{ mm Aq}$ (ゲージ圧) のもとで PU1-PL1 ノズルを用いた場合のものである。

3. 被測定振幅 a の影響

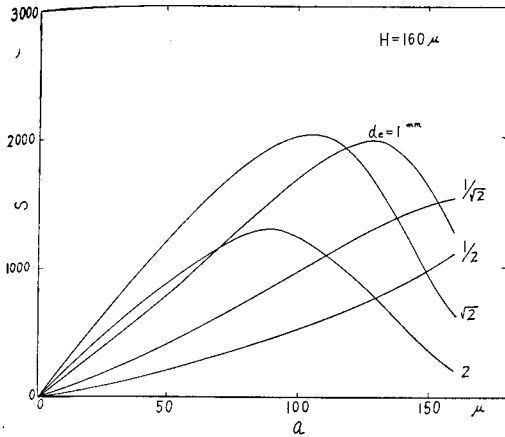
第 3 図は H を一定とした場合、 S が振幅 a によつてどう変化するかを d_e をパラメータとして示す。 H の小さい場合 (a 図)、 d_e の小さいほど S が大きく、 S_{\max} に対応する a の値は d_e の減少に伴って大きくなる。しかし d_e の値の下限があることは、 f_p の場合と同様、V 形特性曲線の変化を考えれば明らかである。 H が大きくなつていくと (b, c 図) S の変化の割合は緩かになり、 d_e の小さい値が必ずしも有利



第 3 図 (a) 振幅の影響

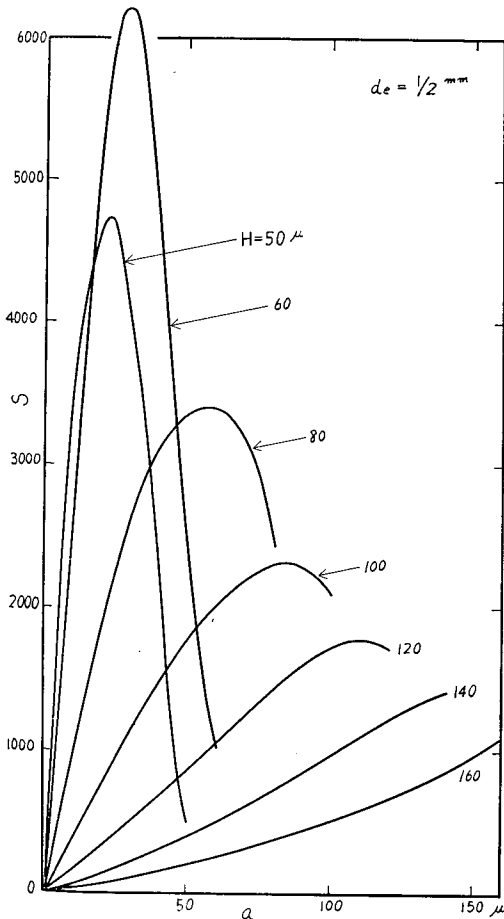


第 3 図 (b)



第3図(c)

でなくなる。 S_{\max} 値を最大にする d_e の値は次第に大きくなる。 S 極大に対応する a の値が d_e の減少に伴って増大することは H の値に拘らず共通の性質で

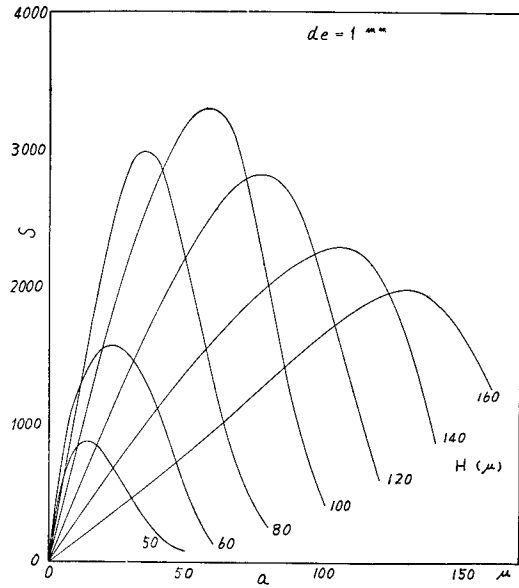


第4図(a) 振幅の影響

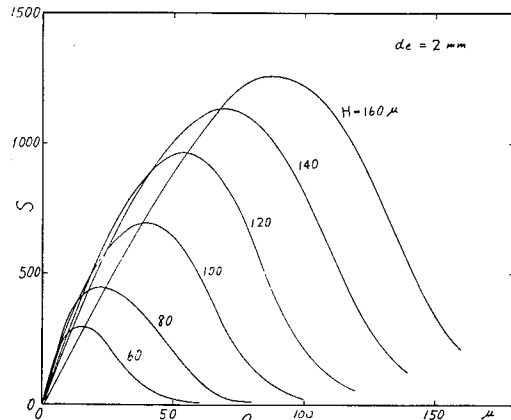
あるがそのずれ方は H の大きいほどはげしい。

パラメータを交換して $S-a$ 図を描くと第4図に示すようになる。 S_{\max} 点の a の値は H に伴って増減している。 d_e の小さい場合(a図) H が大きいと S_{\max} が現われず $a=H$ で S が最大になっているが、これは極端な用例でこのような場合は当然 d_e を大きくして利用すべきである。 S_{\max} 値は H によって変化するがその極大値が存在することが明らかに認められる。 S_{\max} 極大における H の値は d_e が大きくなるに従って大きくなる。それで H と d_e の間には感度を大きくするためにほぼ比例関係が成立していることがわかる。

$S-a$ 曲線で重要なことは、 S_{\max} 点の振幅 a はど



第4図(b)



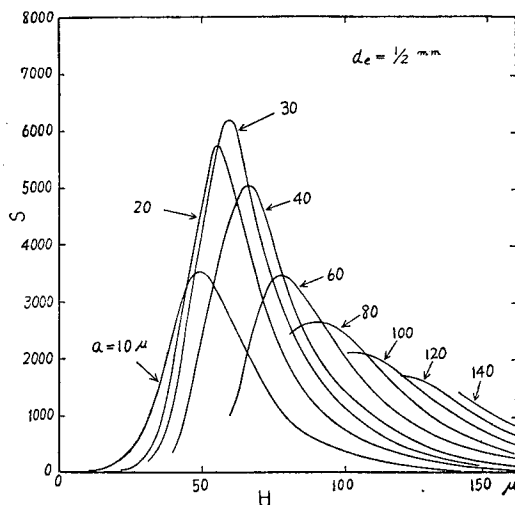
第4図(c)

れほどの値か、 S の値が大きいかどうかということのほか、曲線が幅広いかどうかということである。このことは振幅の広い範囲にわたつてほぼ同じ感度が得られること、あるいはある感度以上で測定できる振幅範囲が広いことを示す。この点については次報で詳細に吟味する。

4. 間隙 H の影響

間隙 H は測定可能な最大振幅を決定するほか感度に大きな影響を与える。第5図は d_e を一定にしたときの $S-H$ の関係を a をパラメータとして示したものである。極端な場合を除いて S を極大とする H の値が存在する。いずれの場合でもそのときの H は a の増減に伴つて変化する。これらの曲線群の包絡線は一定の d_e をもつた装置での最大可能感度をあらわし、その感度を実現させるためには H と a との特定の組合せが必要である。たとえば、 $d_e = \frac{1}{2}\text{mm}$ のとき(a図)は $d_e = 2\text{mm}$ のとき(c図)に比べて S_{max} を大きくできるがそれは振幅の大きくないときに限られる。 d_e を大きくすると同一の a に対して S_{max} 点の H 値は大きくなり同時に S_{max} の値は小さくなる。

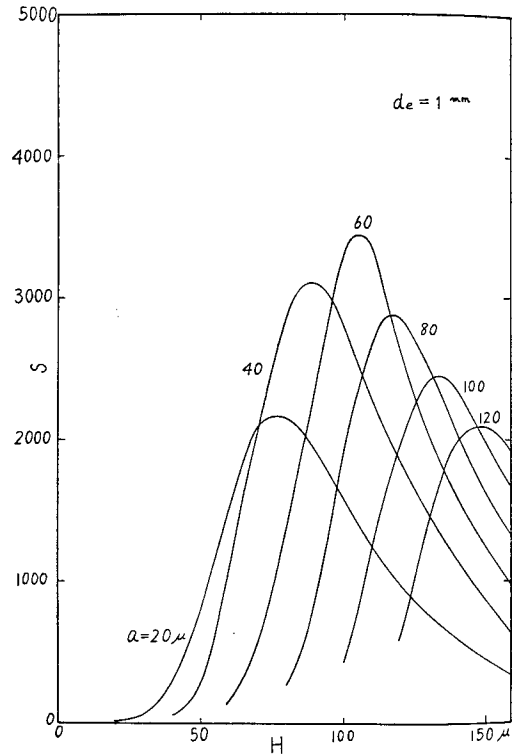
$S-H$ 曲線の傾斜が急であるということは装置を作るさいの間隙の寸法誤差の効果の大きいことを示す。たとえば $d_e = 0.5\text{mm}$ 、 $H = 60\mu$ の装置では 30μ の振幅を測定する場合、 $S = 6200$ であるが、 $H = 65\mu$ となると $S = 5400$ に減少する。一般に高感度の場合には間隙寸法誤差を小さくしなければならない。



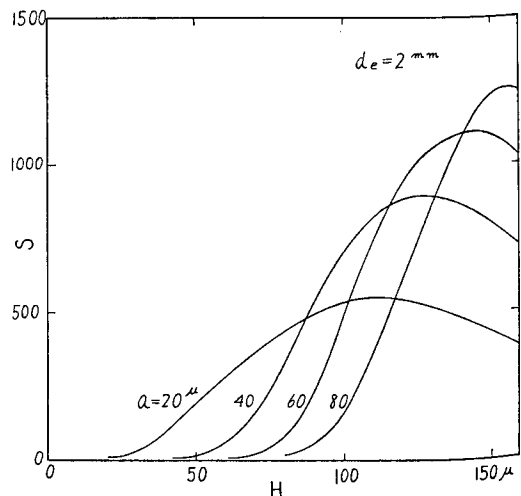
第5図 (a) 間隙の影響

5. 固定絞り径 d_e の影響

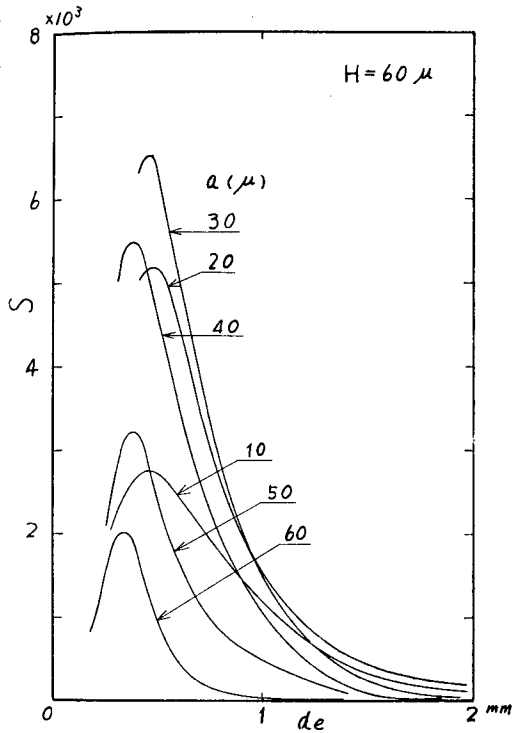
本装置の基礎となつている複合ノズルをもつた空気マイクロメータの静特性曲線が d_e の値によつて鍋形V形あるいはU形に変わることが明らかにされているので²⁾ S を極大にする d_e の値が必ず存在すること



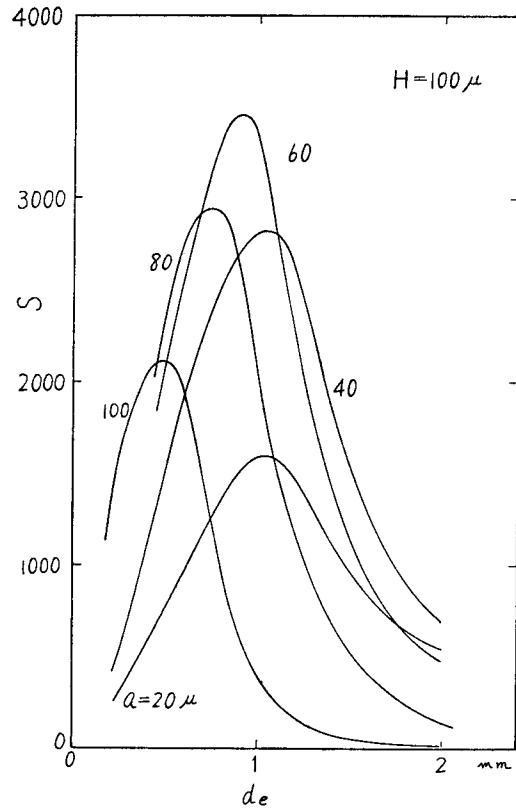
第5図 (b)



第5図 (c)



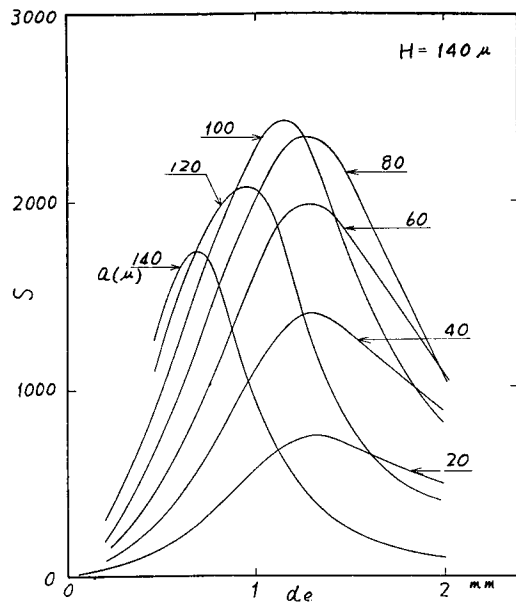
第6図 (a) 固定絞りの影響



第6図 (b)

も明らかである。第6図は H を一定とした場合の $S-d_e$ 曲線である。 $H=60\mu$ の場合 (a 図), S_{\max} 点の d_e の値は比較的まとまっている。このことは一定の装置で広い振幅範囲にわたつておののの振幅に対する最大感度附近で測定が行われることを示して設計上きわめて重要な特長である。 H の大きい場合 (c 図) は S_{\max} 点の d_e の値はかなりちらばつていて上記の特長が失われてきていることがわかる。この d_e 値は振幅が大きくなるに従つて小さくなつていく。この傾向は H の値に拘らず共通である。

第7図は a を一定としたときの $S-d_e$ 図で、被測定振幅が予想されたとき H と d_e をどのように選べばよいかの指針となる。 H を大きくすると最大感度を得るための d_e の最適値が大きくなることは前にも述べたとおりである。ノズルの構造上 $a=H$ にまですることは実現できない。ノズルの衝突をさけるため $(H-a)$ をある程度の値に保たなければならない。たとえば、 $a=40\mu$ が予想された場合 (a 図), $H=60\mu$ にすると間隙の余裕は 20μ で感度は d_e を適当に選んで4800にすることができる。しかし余裕を 40μ としたいときは $H=80\mu$ を採用しなければならないので感度を4200以上にすることは不可能である。いずれ



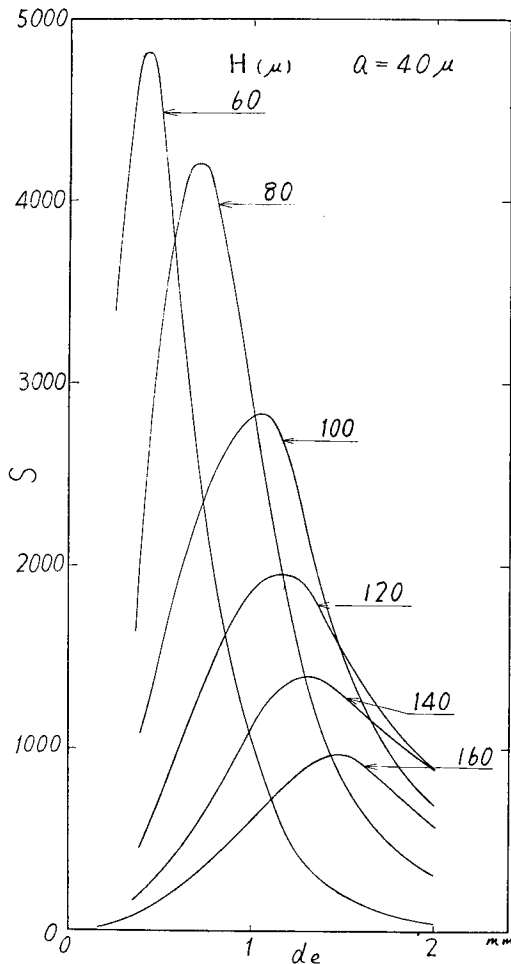
第6図 (c)

の設計を採用するかは利用条件に従つて定めるべきである。しかし $a=120\mu$ が予想される場合 (c 図) は $H=160\mu$ を採用する方が $H=140\mu$ とするよりは間隙の余裕も大きく、感度も高くすることができるので有利である。

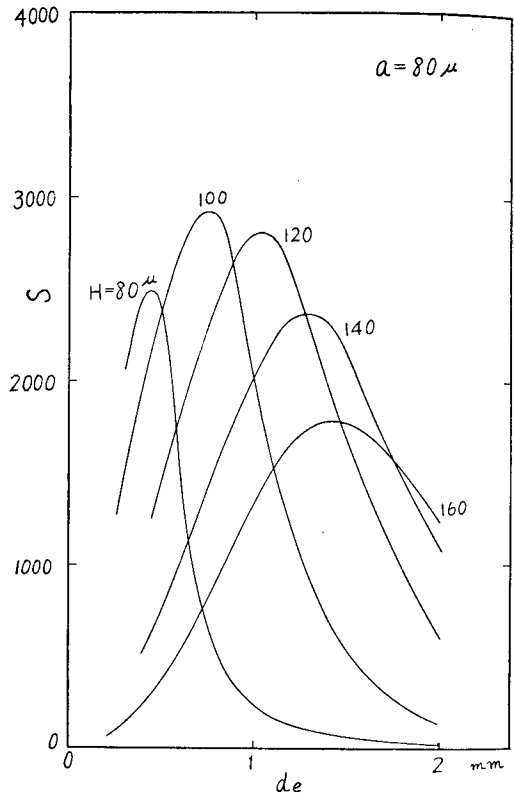
$S-d_e$ 曲線の傾斜は前述のとおり製作誤差の影響に関係する。 H および d_e の小さいときは感度は高くなるが絞りの製作誤差の影響が大きくなるので注意しなければならない。

6. 最適条件

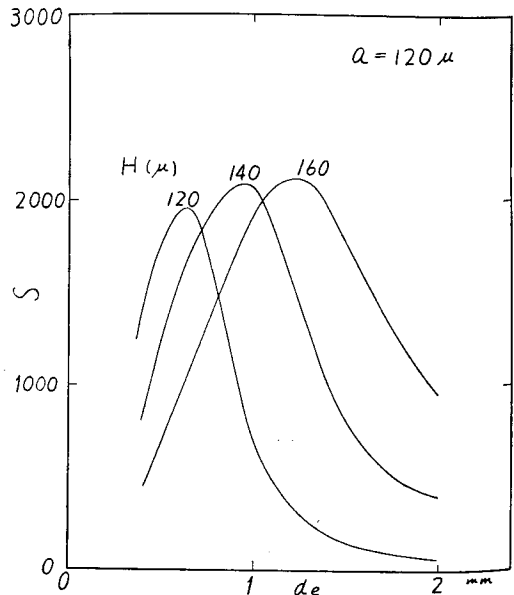
変換倍率 f_p の場合と同様に、感度 S も H , d_e および a の組合せによつて極端にその値が変わることがわかった。そして3者のうち2者の値がきめられた場合、残りの一つの値を感度が最大になるように選ぶことが可能である。これを最適条件とよび、その値には脚符 m をつける。第8図は最適条件を示す図で a 図



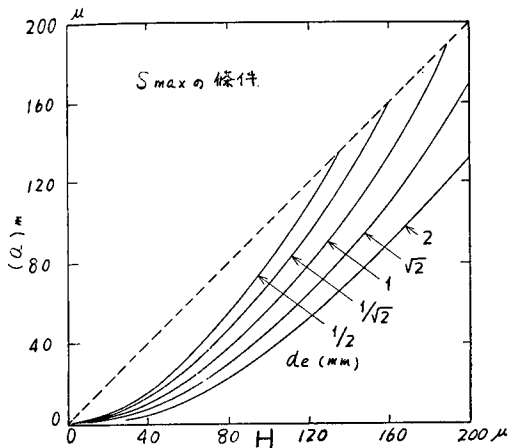
第7図 (a) 固定絞りの影響



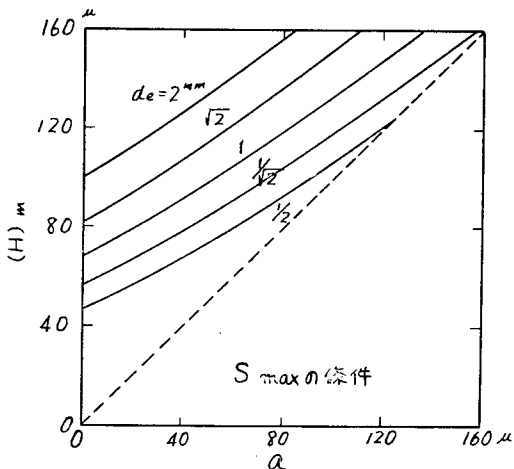
第7図 (b)



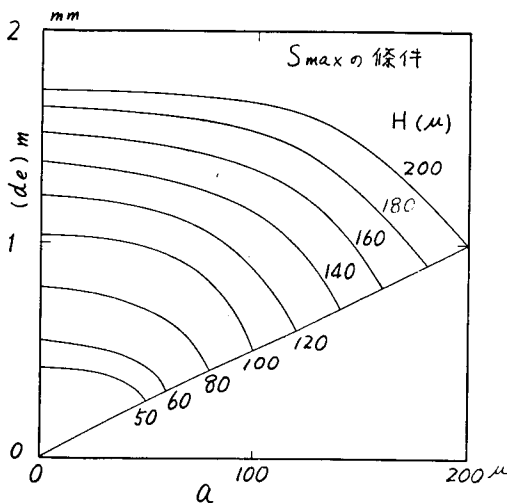
第7図 (c)



第8図 (a) 最適条件



第8図 (b)



第8図 (c)

は H と d_e がきめられたとき a の最適値 a_m を示す。図の破線は $a=H$ の線であるから破線より上側はノズルの衝突により実現不能の領域である。曲線が垂直に近ければ広い振幅範囲にわたって最適条件がほぼ満足されることを示しているが図では余り好ましい状態とはいえない。大略 $a_m=(0.6\sim 0.8)H$ である。

第8(b)図は H の最適値を求めるための線図である。a図と比べると、 a か H かのいずれが先にきめられるかによつて、同一の d_e に対して最適条件を与える H と a の値の組合せが異なることがわかる。 $d_e=1/2\sim 2\text{mm}$ では、

$dH_m/d d_e \approx 0.04$ となりこの値は振幅が大きくなると僅かではあるが大きくなる。また、

$a=40\sim 80\mu$ では $dH_m/da \approx 0.7$ で d_e が小さいほどその値は大きくなるが、その差は僅かである。

一般に最終的に d_e を決定することが都合がよい。予想される振幅値をきめ、余裕を適当に考えて H を選べば d_e の最適値が求められる。第8(c)図はこの関係を示すもので、ここで曲線が水平であるということは同一の d_e で広い振幅範囲にわたって最適条件を維持できることを表わして、装置設計上きわめて好都合である。図において $a < 1/2 H$ の範囲では曲線が水平に近いのでその点都合がよいが H が大きく a が小さい場合は感度も低くなることを思いおこすべきである。一般に S_{\max} は $a > 1/2 H$ の範囲にあるので、上述の特長を十分発揮することはできない。 f_p を極大にする d_e の値より S を極大にする d_e の値の方が若干小さくなっている。 $H=a$ の場合、大体

$(d_e)_m \approx 5a$ となる (f_p 極大に対して $(d_e)_m \approx 8a$)。

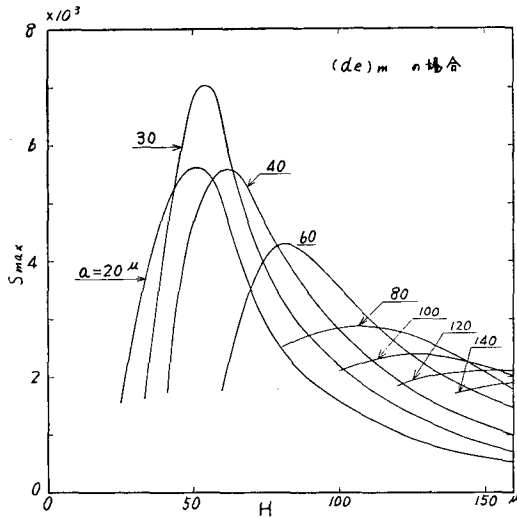
7. 最大感度 S_{\max}

つぎに最適条件を選定したとき得られる最大感度 S_{\max} を吟味する。第9図は d_e を最適値にえらんだときの S_{\max} の値を a および H をパラメータとして示したものである。 S_{\max} の値は H あるいは a のある値で極大となる。この装置での実現可能な最大感度は

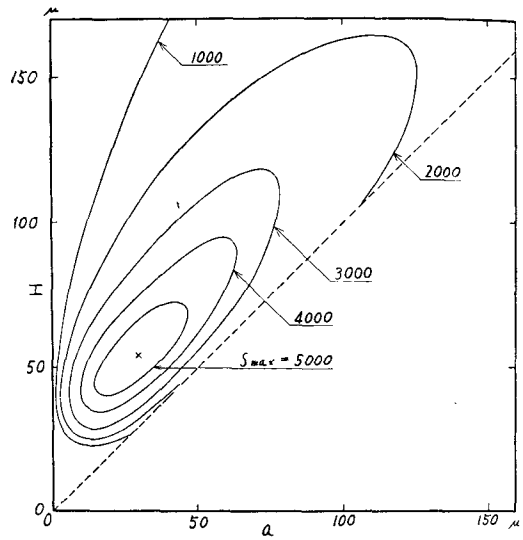
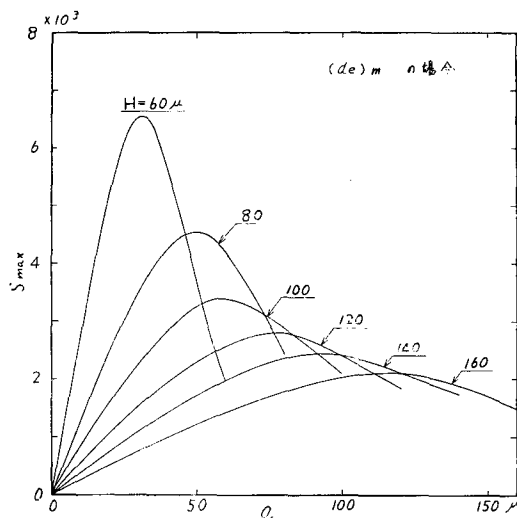
$a=29\mu$, $H=54\mu$ において 7050 となる。

このとき $d_e=0.45\text{mm}$ となる。これらの条件を変えるには、ノズル寸法はあまり効果がないので、供給圧を変える必要がある。

ある特定の振幅値に対して、 S_{\max} の極大点より H を小さくすることは間隙の余裕を減らすだけで無意味である(a図)。 $a > 40\mu$ では $H \approx (1.3\sim 1.5)a$ にするのがよい。また $a < 30\mu$ では $H \approx 2a$ にとればよい。このときに $(d_e)_m \approx (8.0\sim 8.5)H$ 選ぶのが適当



第9図 (a) 最大感度曲線


 第10図 S_{max} の等倍線


第9図 (b)

であろう。もちろん $(de)_m$ の正確な値は第8(c)図からよみとるべきである。

第10図は S_{max} の等倍線であつてこの曲線に包まれた領域内の H と a の組合せについては de を最適値とすることによつて付記された値以上の感度が得られる。もちろん頂点の座標は $a=29\mu$ 、 $H=54\mu$ である。45°の破線は実現可能な限界を示しているのでこの線より上方に大きく張り出している領域では間に余裕があるので実用的に有利である。ある感度を実

現させるためには振幅値に上下の限界があるが本装置では $3\sim 125\mu$ の振幅が感度 2000 以上で測定できることがわかる。

8. あとがき

複合ノズルをもつた空気マイクロメータの整流特性を用いて振動計を設計した場合にその測定感度がどのようなかを検討した。感度は H 、 de および a によつて左右されるので、これらの要素について最適条件を明らかにし、そのさい得られる最大感度を求めた。 de の最適値を決定することは前報で扱つた変換倍率の場合に比べてやや困難である。本装置では特定の条件のもとでは最大感度が7050に達すること、 $3\sim 125\mu$ の振幅が感度 2000 以上で測定されることなどがわかつた。

計測器の感度が被測定量によつて変化するということは尺度が非線形になるので好ましくない。本装置にも若干そのような欠点が存在するが、これを一定振幅を対象とした制御系の検出器として利用すれば、その特長が十分に発揮される。

(昭和40年11月18日受理)

参考文献

- 1) 萩原辰弥：明治大学工学部研究報告 No. 19 (1964) p. 46～54
- 2) 萩原辰弥：明治大学工学部研究報告 No. 19 (1964) p. 39～45